مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال دهم، شماره 3، پاییز 1394، صفحات 77-67

پیش‌بینی خصوصیات رئولوژیکی بنیادی خمیر با استفاده از شبکه عصبی-الگوریتم ژنتیک

هاجر عباسی[1]، محمد امین محمدی‌فر[2]

1- نویسنده مسئول: استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران، پست الکترونیکی: H.Abbasi@Khuisf.ac.ir

2- دانشیار گروه آموزش علوم و صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه و صنایع غذایی، دانشکده تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: 93/12/25 تاریخ پذیرش: 94/3/16

چکیده

سابقه و هدف: خمیر محصول میانی خطوط تولید صنایع نانوایی است که ویژگی‌های رئولوژیکی آن نمایانگر خصوصیات فیزیکوشیمیایی مواد اولیه و مؤثر بر ویژگی‌های کیفی فرآورده نهایی است. با توجه به کارایی بالای شبکه‌های عصبی مصنوعی در آموزش‌پذیری و پردازش موازی داده‌ها با روابط غیر خطی، هدف از این پژوهش تهیهٔ مدل‌هایی مناسب به منظور پیش‌بینی خصوصیات رئولوژیکی خمیر با توجه به ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آرد است.

مواد و روش‌ها: طیف وسیعی از آردهای تهیه شده در کارخانه‌های مختلف کشور جمع‌آوری و هفت ویژگی فیزیکوشیمیایی آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمون‌های نوسانی روبش کرنش و روبش فرکانس بر خمیر حاصل از نمونه‌ها انجام و دو پارامتر مهم حاصل از آنها به منظور مدل‌سازی انتخاب شدند. پس از آموزش شبکه‌ها و تعیین پارامترهای آنها با استفاده از الگوریتم بهینه‌ساز ژنتیک و آزمودن هر شبکه، بررسی حساسیت پارامترهای خروجی به فاکتورهای ورودی شبکه صورت گرفت.

یافته‌ها: شبکه‌های طراحی شده از انواع پرسپترون چهار لایه ای هستند که اولی با حذف دو پارامتر گلوتن مرطوب و اندیس ابعاد ذرات آرد، دارای 5 نرون در لایهٔ ورودی و 15 نرون در لایه‌های پنهان اول و دوم جهت پیش‌بینی عرض از مبدأ و دومی با 7 نرون لایه ورودی، 24 نرون در لایهٔ پنهان اول و 17 نرون در لایهٔ پنهان دوم جهت پیش‌بینی شیب مدل برازش یافته بر روبش فرکانس مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از شبکه‌های گسترش یافته، پیش‌بینی خصوصیات رئولوژیکی خمیر با ضریب همبستگی بیش از 97% صورت گرفت. اندیس گلوتن و عدد زلنی به عنوان مؤثرترین پارامترها بر تغییر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر شناسایی شدند.

نتیجه گیری: شبکه‌های عصبی مصنوعی-الگوریتم ژنتیک ابزار توانمندی در پیش‌بینی خصوصیات رئولوژی خمیر هستند. آزمون حساسیت شبکه بهینه به‌خوبی اهمیت پیش‌بینی کنندگی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آرد بر تغییرات خصوصیات رئولوژیکی بنیادی خمیررا نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک، رئولوژی خمیر، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آرد

• مقدمه

خمیر آرد گندم ماده‌ای است الاستیک و چسبناک که توانایی نگهداری گاز را دارد. این ویژگی خمیر از ملزومات تولید محصولات نانوایی دارای بافت سبک و مطلوب است (1). بررسی خمیر آرد گندم، اطلاعاتی از واکنش‌ها و اثرات متقابل شیمیایی و فیزیکی ترکیبات مختلف آرد و افزودنی‌ها و تأثیر آنها بر ویژگی‌های خمیر را ارائه می‌دهد (2). خصوصیات رئولوژیکی در تعیین رفتار خمیر آرد گندم در طی فراوری‌های مکانیکی تولید و تغییر کیفیت محصول نهایی بسیار مؤثر است. علاوه بر آن با حرکت صنعت پخت به سمت خود کار شدن، شناسایی خصوصیات رئولوژیکی خمیر اهمیت بیشتری یافته است. آزمون‌های رئولوژیکی بنیادی با اعمال تنش‌های کنترل شده بر نمونه، سبب تغییر شکل‌های اندک در ماده شده و قادر به فراهم کردن جزئیات ضروری و مهم در رابطه با خصوصیات رئولوژیکی مواد هستند (4، 3).

شبکه‌های عصبی مصنوعی نوعی سیستم پردازش موازی اطلاعات هستند که حاصل نتیجه تحقیقات دانشمندان بر هوش مصنوعی می‌باشند و سعی بر درک رفتار و مدل‌سازی عملکرد مغز انسان دارند. هدف یک شبکهٔ عصبی طراحی

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]

صحیح بین الگوهای ورودی و الگوهای خروجی مرتبط با آنهاست. از مزایای منحصر به فرد شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توان به توزیع اطلاعات در بین گره‌ها و قدرت پردازش موازی، توانایی یادگیری، ذخیره‌سازی و دسترسی سریع به حجم زیادی از اطلاعات و توانمندی تشخیص الگوهای چند متغیره غیرخطی و پیچیده را نام برد. به نظر می‌رسد به‌کارگیری تکنولوژی‌هایی هوش مصنوعی مانند سیستم‌های خبره، شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی تأثیرات استراتژیک و تکنیکی بسیاری در رقابت‌های تجارتی آینده خواهند داشت. در علوم غذایی شبکه‌های عصبی ابزارهای توانمندی برای بررسی کیفیت و سلامتی موادغذایی هستند که امکان مدل‌سازی رشد میکروارگانیسم‌ها، پیش‌بینی سلامتی و خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و حسی مواد غذایی در حین فرآوری و توزیع را فراهم می‌آورند (5).

الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه‌سازی بر مبنی علم ژنتیک و فرضیه داروین است که ساختاری بسیار ساده و کارآمد دارد. امکان تغییر ویژگی‌های الگوریتم‌های ژنتیک برای حل مسائل مختلف و خاص از خصوصیات مطلوب آنهاست. در روش‌های هوشمند بهینه‌سازی به ویژه الگوریتم ژنتیک، شانس دست‌یابی به نقطهٔ بهینه کلی بسیار زیاد است. در این روش چندین نقطه از فضای جستجو به صورت هم‌زمان در نظر می‌گیرند و بنابراین شانس اینکه به یک بیشینهٔ محلی همگرا شوند کاهش می‌یابد. یکی از کاربردهای پراهمیت الگوریتم ژنتیک که در این پژوهش نیز مورد استفاده قرار گرفته است بهینه سازی پارامترهای شبکه‌های عصبی‌است (6).

در اکثر صنایع پخت داخل و حتی خارج از کشور، اغلب بررسی فاکتورهای اولیه فیزیکوشیمیایی آرد صورت می‌گیرد، در حالی که ارزیابی ویژگی‌های کیفی خمیر نانوایی مانند ویژگی‌های رئولوژیکی و عملکردی آنها به دلیل هزینه بر بودن، نیازمندی به دستگاه‌های پیشرفته و یا نداشتن دانش و تخصص لازم صورت نمی‌گیرد. لذا تهیه و تنظیم مدل هایی به منظور بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر با توجه به فاکتورهای شیمیایی و فیزیکی آرد گندم می تواند در کنترل خصوصیات رئولوژیکی خمیر و کاهش نیازمندی به انجام آزمون‌های پرهزینه و تخصصی بسیار مؤثر باشد. تا کنون سیستم‌های پردازشی مختلفی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی ویژگی‌های محصولات صنعت غلات استفاده شده است (6). با این وجود تحقیقات منتشر شدهٔ قابل توجهی در مورد پیش‌بینی خصوصیات مختلف خمیر نانوایی با توجه به ویژگی‌های آرد اولیهٔ مورد استفاده در آنها وجود ندارد.

با توجه به اثبات کارایی شبکه‌های عصبی در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده در اکثر صنایعی که فاکتورهای غیر خطی بسیاری در تغییر ویژگی‌های آنها مؤثر هستند و همین‌طور با توجه به تأثیر خصوصیات رئولوژیکی خمیر در تغییر ویژگی‌های کیفی نان به عنوان یکی از مهمترین مواد غذایی موجود در سبد غذایی مردم جامعه، این مطالعه با هدف تهیهٔ مدل‌هایی مناسب به منظور پیش‌بینی ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر تولید شده از آردهای مورد استفاده در صنایع نانوایی کشور است انجام شد که می‌تواند نقش چشمگیری در بهبود کیفی محصولات تولیدی ایفا کند.

• مواد و روش‌ها

جمع‌آوری نمونه‌ها: 120 نمونه آرد ستاره از کارخانه‌های بسیاری از استان‌های موجود در تمام مناطق 14 گانه کشور جمع آوری گردید.

ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آرد: هفت فاکتور از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه ها، شامل درصد رطوبت، پروتئین، خاکستر، عدد زلنی، عدد فالینگ، اندیس ابعاد ذرات آرد، گلوتن مرطوب و اندیس گلوتن در سه تکرار اندازه گیری شدند (7).

ارزیابی ویژگی‌های رئولوژیکی بنیادی خمیر: آزمونهای نوسانی با استفاده از رئومتر چرخشی Physica MCR 301 ساخت شرکت Anton paar انجام شد. به این منظور نمونه خمیر با شرایط کاملاً معین (اختلاط آب و آرد در مخلوط کن مخصوص با سرعت 30 دور بر دقیقه به مدت 10 دقیقه) تهیه شد. قطعه‌ای از خمیر زیر ژئومتر دستگاه رئومتر قرار گرفته و به مدت 30 دقیقه فرصت استراحت داده شد تا تأثیر تنش‌های ناشی از اختلاط بر آن برطرف شود و شبکهٔ گلوتنی به حالت پایا برسد. یک دقیقه قبل از اتمام زمان استراحت خمیر، قسمت‌های اضافی خارج شده از ژئومتر طی مدت 30 ثانیه به طور کامل جدا و سپس در محدودهٔ کرنش 0/001% تا 100% و در فرکانس ثابت 1 هرتز، تحت استرس سینوسی قرار گرفت.

به منظور بررسی رفتار خمیر در حین نوسان فرکانس، ابتدا کرنشی مشخص از محدودهٔ خطی ویسکوالاستیک انتخاب شد و سپس رفتار خمیر در حین نوسان فرکانس در این کرنش ثابت مورد بررسی قرار گرفت. به این مرحله پس از تهیه خمیر، آزمون روبش فرکانس در محدودهٔ فرکانس 30-0/3 هرتز و کرنش 0/02% در دو تکرار برای تمام نمونه‌ها صورت گرفت (8).

پس از انجام کامل آزمایشات، به منظور درک بهتر روابط میان متغیرهای ورودی و خروجی شبکه عصبی، مقادیر

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]

همبستگی پیرسون داده‌های نرمال شده (1- تا 1) با استفاده از نرم افزار SPSS (13.0) محاسبه شدند.

مدل سازی خصوصیّات رئولوژیکی خمیر با استفاده از شبکهٔ عصبی مصنوعی: در ابتدا تمام متغیّرهای ورودی و خروجی در محدودهٔ 1 و 1- نرمال و به صورت تصادفی دسته-بندی و برای فاز آموزش، اعتبارسنجی و تست شبکه مورد استفاده قرار گرفتند (9). داده‌های فاز اعتبارسنجی (تقریباً حدود 10% از کل داده‌ها) به منظور ارزیابی سطح تعمیم ایجاد شده از به‌کارگیری داده‌های آموزش معین و اعتبارسنجی همگام با آموزش شبکه صورت پذیرفت. شبکه‌های پرسپترون چند لایه با توجه به توانایی منحصر به فردشان در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند. تنظیم و بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر بر عملکرد شبکه، مهم‌ترین قسمت گسترش یک شبکهٔ عصبی در حل مسائل مختلف است. در مرحله اول از روش آزمون و خطا به منظور بهینه‌سازی اولیه پارامترهای و دستیابی به ساختار کلی شبکه استفاده شد. برای این منظور ابتدا یک شبکهٔ عصبی سه لایه با یک لایهٔ پنهان گسترش و تأثیر افزایش نرون‌های لایهٔ پنهان از یک تا سه برابر تعداد نرون‌های لایهٔ ورودی (بیست و یک نرون) با فواصل یک نرون بر عملکرد شبکه مورد بررسی قرار گرفت. در این بخش هر شبکه با تعداد ورودی، خروجی و نرون‌های لایهٔ پنهان معین ده مرتبه تا حصول معیارهای پایان آموزش، به صورت نظارتی آموزش داده شد. در ابتدای مرحلهٔ آموزش با روش پس انتشار خطا، کمیّت هر یک از اوزان شبکه تعیین گردید. پس از اتمام مراحل آموزش، تمام پارامترهای مؤثر بر عملکرد شبکه ثابت و برای فاز تست مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های فاز تست تنها به منظور سنجش عملکرد شبکه مورد استفاده قرار می-گیرند و نتایج مستخرج با نتایج واقعی مقایسه می‌شوند. بهترین شبکهٔ عصبی این قسمت با کمترین میانگین کمینهٔ مربعات خطا بر داده‌های فاز تست برگزیده شد. در مرحلهٔ دوم یک شبکهٔ عصبی چهار لایه با دو لایهٔ پنهان طراحی شد. تعداد نرون‌های لایهٔ پنهان اول ثابت و نرون‌های لایهٔ دوم پنهان بین 21-1 نرون با فواصل 1 نرون تغییر داده شد. این فرایند از یک نرون در لایهٔ پنهان اول آغاز و تا بیست و یک نرون در همین لایه ادامه یافت. مهمترین معیارهای پایان یافتن آموزش، اتمام دور چرخه‌های آموزش، اتمام مدت زمان تعیین شده برای آموزش، دستیابی به میانگین مربعات خطای تعیین شده برای داده‌های آموزش و اعتبارسنجی بود. پس از انتخاب توابع انتقال مناسب برای لایه های پنهان، مقادیر ممنتم بخش‌های مختلف بین 1-0/1 با فواصل 0/1 و مقادیر اندازهٔ گام آنها بین 1-0/5 با فواصل 0/1 تغییر داده شد و کمیّت‌های بهینه این دو پارامتر در شبکهٔ طراحی شده تعیین گردید. نهایتاً توپولوژی بهترین شبکهٔ حاصل به منظور استفاده در مرحله بعد معین گردید (10-11).

در آموزش شبکه با الگوریتم ژنتیک، جمعیت اولیه‌ای از شبکه‌ها با ترکیب متفاوتی از پارامترهای مربوط به شبکه، به صورت تصادفی خلق شدند. شبکه‌ها آموزش و ارزیابی شدند تا میزان برازش و خطای آنها معین گردد. با تلفیق و جهش ویژگی‌های بهترین شبکه، جمعیت جدیدی از شبکه‌ها خلق شدند. مجدداً شبکه‌های این جمعیت ارزیابی و ویژگی‌های بهترین آنها به نسل بعد منتقل گردید. این فرایند تا دست‌یابی به یکی از معیارهای پایان آموزش ادامه یافت. تعداد چرخه‌های آموزش، بیشینهٔ زمان آموزش، عملکرد شبکه در بخش اعتبارسنجی، معیارهای پایان مرحلهٔ آموزش شبکه، بزرگی جمعیت کروموزومی و تعداد نسل از جمله فاکتورهای مهم و تأثیرگذار در این بخش هستند. الگوریتم ژنتیک امکان بهینه-سازی کمیّت اندازهٔ گام و ممنتم قسمت‌های مختلف شبکه، تعداد نرون‌های لایه های پنهان طراحی شده برای شبکه پس از تعیین کمینه و بیشینهٔ این پارامترها به منظور ارزیابی کمیّت موردنظر در محدودهٔ تعیین شده را فراهم می‌آورد. به علاوه الگوریتم ژنتیک می‌تواند ورودی‌های شبکه را بسته به تأثیر آنها بر خروجی‌ها فعال یا غیر فعال سازند. ارزیابی عملکرد شبکه‌های به دست آمده با محاسبه و بررسی فاکتورهای متعددی از جمله ضریب همبستگی بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده، میانگین مربعات خطا (MSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) به دست آمد (12، 14)

بررسی حساسیّت نسبی فاکتورهای خروجی به پارامترهای ورودی شبکه: این مرحله از فرایند تست به منظور دریافت اهمیّت نسبی هر یک از ورودی‌های شبکه در تغییر فاکتورهای خروجی در مدل نهایی انجام شد. به این منظور یکی از ورودی‌ها ما بین میانگین و انحراف معیاری که برای آن تعریف شده است تغییر داده می‌شود، درحالی که کمیّت سایر ورودی‌ها ثابت و معادل مقدار میانگین خود باقی می ماند. خروجی شبکه با تغییر این پارامتر به تعداد دفعات تعریف شده محاسبه خواهد شد. این فرایند برای تک‌تک ورودی‌ها تکرار می‌شود تا اهمیّت نسبی هر یک بر تغییر فاکتور خروجی مشخص گردد.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]

• یافته‌ها

خصوصیات رئولوژیکی بنیادی خمیر: آزمون‌های نوسانی یکی از مناسب‌ترین آزمون‌ها برای ارزیابی خصوصیات رئولوژیکی مواد ویسکوالاستیک هستند. در آزمون روبش، فرکانس مادهٔ مورد نظر تحت تنش یا تغییر شکل‌های سینوسی ($\gamma = \gamma_o \sin \omega t$) متناسب با زمان قرار می‌گیرد و پاسخ مادهٔ به تغییر شکل‌های سینوسی اعمال شده بسته به ویژگی‌های ویسکوالاستیک ماده به صورت تنش سینوسی ($\sigma = \sigma_o \sin (\omega t + \delta)$) نمایش داده می‌شود. رفتار مدول‌های الاستیک و ویسکوز نمونه در فرکانس‌های مختلف مورد بررسی و به این صورت ماهیت مادهٔ مورد نظر ارزیابی می گردد. خصوصیت الاستیک با مدول ذخیره(G')، خصوصیت ویسکوز با مدول اتلاف (G") و نسبت این دو (G"/G') که نمایش دهندهٔ تانژانت اختلاف فاز($\tan \delta$) است حاصل می‌شود. ترکیبات دارای اتصالات بیشتر در ساختار خود عموماً $\tan \delta$ پایین‌تری دارند.

در این پژوهش پس از تعیین محدوده خطی ویسکوالاستیک و بررسی رفتار خمیر همگام با تغییر فرکانس، مدل‌های مختلف رئولوژیکی بر منحنی روبش فرکانس نمونه‌ها برازش داده شده و مشخص شد مدل اوستوالد (رابطه 1) با ضریب تشخیص در حدود 0/99 به خوبی قادر به توصیف رفتار رئولوژیکی خمیر است (12).

رابطه 1:

$$y = ax^b$$

$$\log(y) = \log(a) + b\log(x)$$

x و y به ترتیب بیانگر سرعت کرنش برشی و تنش اعمال شده بر نمونه، پارامتر a بیانگر عرض از مبدأ نمودار یا قدرت ساختار نمونه و فاکتور b بیانگر شیب نمودار مادهٔ مورد بررسی است (12). خمیر آرد گندم دارای ساختار پیچیده‌ای از اتصالات پروتئین و نشاسته است. خصوصیات رئولوژیکی بنیادی خمیر بیانگر میزان و نوع اتصالات موجود در ساختار مولکولی شبکهٔ گلوتنی گسترش یافته در آن است. اتصال پروتئین گلوتنین به واسطهٔ پیوندهای دی سولفیدی در ابتدای مراحل اختلاط، پایهٔ اصلی گسترش شبکهٔ گلوتنی خمیر است. فیبریل‌های گلوتن و گرانول‌های نشاسته به صورت یکنواخت در محیط خمیر توزیع می‌شوند. پلیمر پروتئینی بلند زنجیر گلوتنین در جهات متعدد پیچ و تاب خورده و همگام با ادامه یافتن فرایند اختلاط و اعمال نیروهای کششی و برشی بیشتر، پروتئین‌های بیشتری هیدراته شده و گلوتنین تمایل به اتصال با گلیادین پیدا می‌کند. در این مرحله گسترش شبکهٔ گلوتنی به واسطهٔ اتصالات دی سولفیدی پروتئین‌ها بهبود یافته به نحوی که در بهترین شرایط گسترش شبکهٔ گلوتنی خمیر، اتصالات میان زنجیره‌های پلیمری قوی‌تر، استحکام خمیر بیشتر و بیشینهٔ مقاومت به کشش و تغییر شکل مجدد وجود دارد. پروتئین کوچک‌تر گلیادین نیز ماتریکسی در میان شبکه‌های پلیمری بلند زنجیر تشکیل می‌دهد، همانند یک پلاستیسایزر عمل کرده و موجب بهبود خصوصیات ویسکوز و کشش پذیری خمیر می شود. این پروتئین با ایجاد حالت ویسکوز در خمیر در بهبود مقاومت خمیر به کشش نقش ایفا می‌کند. بنابراین پارامتر a نمایانگر اتصالات بین زنجیره‌های پلیمری پروتئین و قوام خمیر و پارامتر b بیانگر چگونگی رفتار خمیر در برابر تنش‌های برشی و در واقع نوع ساختار نمونه است. محدودهٔ عددی فاکتورهای ورودی و خروجی شبکه در جدول 1 آورده شده است.

جدول 1. محدودهٔ عددی فاکتورهای ورودی و خروجی شبکه

پروتئین (%W/W)	10/14-13/24
خاکستر (%W/W)	0/46-1/13
گلوتن مرطوب (%W/W)	22/65-38/20
اندیس گلوتن (%W/W)	19/21-99/11
عدد زلنی (mL)	15/00-31/50
عدد فالینگ(s)	434/80-1182/00
اندیس ابعاد ذرات آرد (%W/W)	0/75-10/36
a ($Pa.s^b$)	8072/0-30489/0
b (-)	0/090-0/253
Tan δ (-)	0/379-0/495

a: عرض از مبدا منحنی روبش فرکانس
b: شیب منحنی روبش فرکانس
Tan δ: تانژانت اختلاف فاز

بررسی همبستگی میان خصوصیات رئولوژیکی بنیادی خمیر و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آرد: بررسی نتایج جدول 2 نشان می‌دهد که جهت همبستگی میان سه فاکتور درصد خاکستر، پروتئین و گلوتن مرطوب با کمیت a معکوس و با سایر پارامترها مستقیم است. در مقابل جهت همبستگی چهار پارامتر باقیمانده یعنی اندیس گلوتن، عدد زلنی، عدد فالینگ و اندیس ابعاد ذرات آرد با کمیت a مستقیم و با دیگر پارامترها معکوس است. کمیت معکوس همبستگی اندیس گلوتن با شیب نمودار و تانژانت اختلاف فاز در مقایسه با سایر فاکتورها بیشتر است. همبستگی میان عدد فالینگ و

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]

فاکتورهای مربوط به خصوصیات رئولوژی بنیادی معنی‌دار نیست

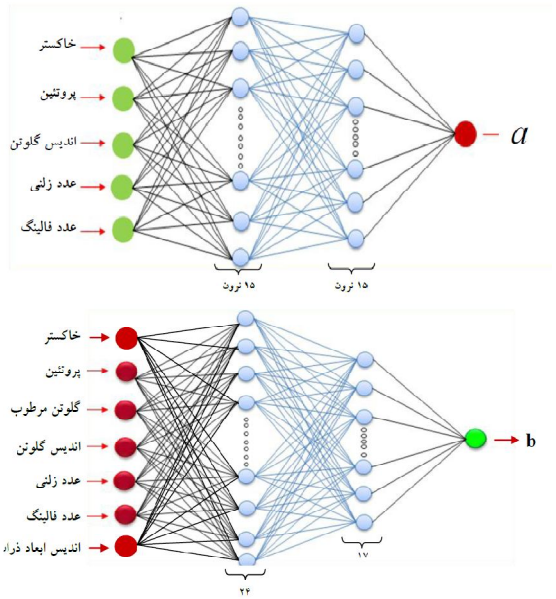
در مورد همبستگی پارامترهای مربوط به خصوصیات رئولوژیکی بنیادی خمیر می‌توان گفت که جهت همبستگی پارامتر a با سایر فاکتورها معکوس و معنی‌دار و در مقابل مابقی فاکتورها با هم همبستگی مستقیم و در اغلب موارد معنی دار دارند.

مدل سازی فاکتورهای مربوط به رئولوژی بنیادی خمیر: عرض از مبدأ و شیب نمودار منحنی روبش فرکانس به عنوان معیارهای اصلی ویژگی‌های رئولوژیکی بنیادی خمیر مدنظر قرار گرفتند. در ابتدا تلاش بر آن بود که هر دو پارامتر به عنوان خروجی‌های یک شبکه در نظر گرفته شوند تا امکان مدل‌سازی همزمان آنها مورد بررسی قرار گیرد. ولی نتایج بیانگر بالا بودن خطای شبکهٔ طراحی شده و کاهش کمیت همبستگی بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده بود. لذا، هر یک از دو فاکتور فوق به صورت مجزا به عنوان خروجی یک شبکه درنظر گرفته شد تا امکان همگرایی بیشتر شبکه و افزایش صحت پیش‌بینی پارامترهای مورد نظر فراهم آید.

جدول 2. مقادیر همبستگی میان ویژگی‌های رئولوژیکی بنیادی خمیر و خصوصیات فیزیکوشیمیایی آرد

	خاکستر	پروتئین	گلوتن مرطوب	اندیس گلوتن	عدد زلنی	عدد فالینگ	اندیس ابعاد ذرات آرد	a	b	Tan δ
a	-0/205*	-0/282**	-0/312**	0/107	0/073	0/065	0/087	1/000	-0/662**	-0/568**
b	0/273**	0/149	0/169	-0/323**	-0/236*	-0/035	-0/202*	-0/662**	1/000	0/382**
Tan δ	0/388**	0/212*	0/384**	-0/395**	-0/213*	-0/025	-0/255*	-0/568**	0/382**	1/000

a: عرض از مبدا منحنی روبش فرکانس
b: شیب منحنی روبش فرکانس
Tan δ: تانژانت اختلاف فاز
*: (P<0.05)
**:(P<0.05)



a: عرض از مبدا منحنی روبش فرکانس
b: شیب منحنی روبش فرکانس

شکل 1. نمایی از شبکه‌های عصبی تنظیم به منظور پیش‌بینی خصوصیات رئولوژیکی بنیادی خمیر

پس از تنظیم فاکتورهای ورودی و خروجی، محدودهٔ نرون‌های لایه یا لایه‌های پنهان، کمیت‌های اندازهٔ گام و دستیابی به ساختار تقریبی شبکه و تنظیم پارامترهای نرم‌افزاری جهت بهینه‌سازی ورودی‌ها به منظور بهبود قابلیت پیش‌بینی شبکه، جمعیتی 250 کروموزومی با 200 مرحله تجدید نسل برای مدل‌سازی فاکتور a و جمعیتی 250 کروموزومی با 70 مرحله تجدید نسل جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی پارامتر b درنظر گرفته شد. در این بخش آموزش هر شبکه 100 چرخهٔ آموزش و معیار پایان هر مرحلهٔ آموزش اتمام دور چرخه‌های آموزشی درنظر گرفته شد. میانگین مربعات خطای داده‌های بخش اعتبارسنجی به منظور ارزیابی برازش کروموزوم‌ها و آزمودن شبکهٔ عصبی در مرحلهٔ آموزش به‌کار گرفته شد. جدول 3 خلاصه‌ای از وضعیت برازش کروموزم‌ها در نسل‌های مختلف فاز آموزش را نمایش می‌دهد. تمام پارامترهای شبکه‌های فوق تثبیت و برای ارزیابی عملکرد بر داده‌های فاز تست مورد استفاده قرار گرفته شدند. شبکه‌های فوق شامل شبکه‌های پرسپترون چهار لایه ای بودند که اولی دارای پنج نرون در لایهٔ ورودی و پانزده نرون در لایه‌های پنهان اول و دوم جهت پیش بینی پارامتر a و دومی دارای 24 نرون در لایهٔ پنهان اول و 17 نرون در لایهٔ پنهان دوم جهت پیش بینی فاکتور b بود. تصویر 1 نمایی از توپولوژی شبکه‌های عصبی مدل‌سازی شده در این پژوهش را نشان می دهد.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]

ملاحظه می‌شود که در شبکه اول دو پارامتر ورودی درصد گلوتن مرطوب و اندیس ابعاد ذرات آرد به عنوان پارامترهای کم تأثیر در مدل‌سازی فاکتور خروجی شناسایی و حذف گردیدند. این درحالی است که هیچ یک از ورودی‌های شبکه دوم در مرحلهٔ آموزش با الگوریتم ژنتیک حذف نگردید. بنابراین شبکه‌های اول و دوم به ترتیب با پنج و هفت نرون ورودی و یک نرون خروجی مدل‌سازی شدند. جدول 4 مشخصات کامل این دو شبکه و فاکتورهای مؤثر بر عملکرد آنها را نمایش می‌دهد.

پس از اتمام مراحل آموزش شبکه و ثابت شدن تمام فاکتورهای آن، پیش‌بینی داده‌های فاز تست با استفاده از آنها صورت گرفت. نتایج ارزیابی عملکرد این شبکه‌ها در جدول 5 نشان داده شده است. با بررسی و محاسبهٔ اختلاف میان پارامترهای واقعی و پیش‌بینی شده توسط شبکه مشخص می‌شود که شبکه اول با میانگین مربعات خطای 0/0033 و همبستگی 0/9904 و شبکه دوم با میانگین مربعات خطای 0/016 و همبستگی 0/97به ترتیب قادر به پیش‌بینی عرض از مبدأ و شیب نمودار مدول الاستیک خمیر می‌باشند. شکل 2 به دو صورت داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده توسط این شبکه‌ها را در کنار هم نشان می‌دهد.

جدول 3. بررسی خطای شبکهٔ عصبی آموزش داده شده با الگوریتم ژنتیک در مرحلهٔ اعتبارسنجی

	A		B	
خلاصه بهینه سازی	بهترین تطابق	میانگین تطابق	بهترین تطابق	میانگین تطابق
شماره نسل	58	89	17	16
کمینهٔ میانگین مربعات خطا	0/0011	0/0013	0/0143	0/0394
میانگین مربعات خطای نهایی	0/0011	0/0027	0/0143	0/0536

a: عرض از مبدا منحنی روبش فرکانس

b: شیب منحنی روبش فرکانس

جدول 4. ویژگی‌های شبکه‌های عصبی طراحی شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک به منظور پیش‌بینی خصوصیات رئولوژیکی بنیادی خمیر

		نوع تابع انتقال	تعداد نرون	اندازهٔ گام (سیناپس)	سرعت مومنتم (سیناپس)	اندازهٔ گام (آکسون)	سرعت مومنتم (آکسون)
a	لایهٔ ورودی	-	5	-	-	-	-
	اولین لایهٔ پنهان		15	0/669	0/728	0/807	0/335
	دومین لایهٔ پنهان	Tanh	15	0/0007	0/277	0/609	0/995
	لایهٔ خروجی	Linear	1	0/024	0/509	0/293	0/385
b	لایهٔ ورودی	-	7	-	-	-	-
	اولین لایهٔ پنهان	Tanh	24	0/957	0/566	0/393	0/328
	دومین لایهٔ پنهان	Tanh	17	0/712	0/283	0/428	0/662
	لایهٔ خروجی	Linear	1	0/570	0/699	0/672	0/032

a: عرض از مبدا منحنی روبش فرکانس

b: شیب منحنی روبش فرکانس

Tanh: هایپربولیک تانژانت

Linear: خطی

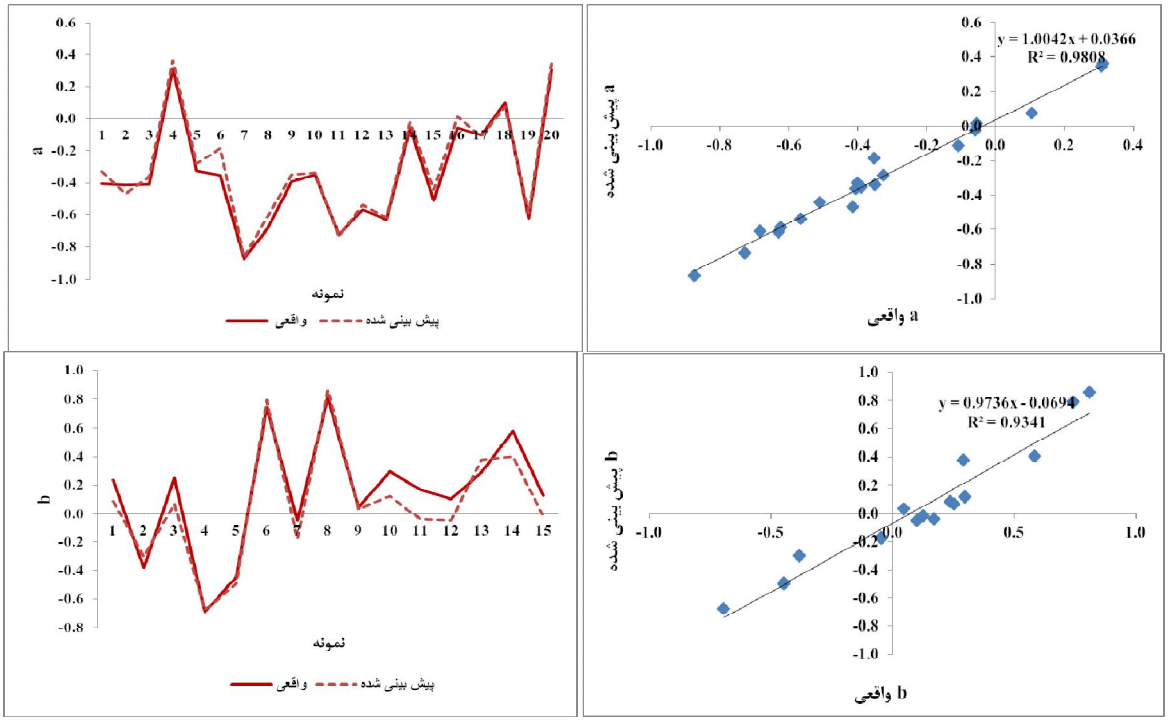
جدول 5. معیارهای ارزیابی عملکرد شبکه‌های آموزش داده شده بر داده‌های فاز تست

پارامترهای ارزیابی شبکه	***a***	***B***
میانگین مربعات خطا	0/0033	0/016
میانگین مربعات خطای نرمال شده	0/0317	0/095
میانگین خطای مطلق	0/0451	0/108
کمینهٔ خطای مطلق	0/0078	0/012
بیشینهٔ خطای مطلق	0/1681	0/202
همبستگی	0/9904	0/970

a: عرض از مبدا منحنی روبش فرکانس

b: شیب منحنی روبش فرکانس

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]



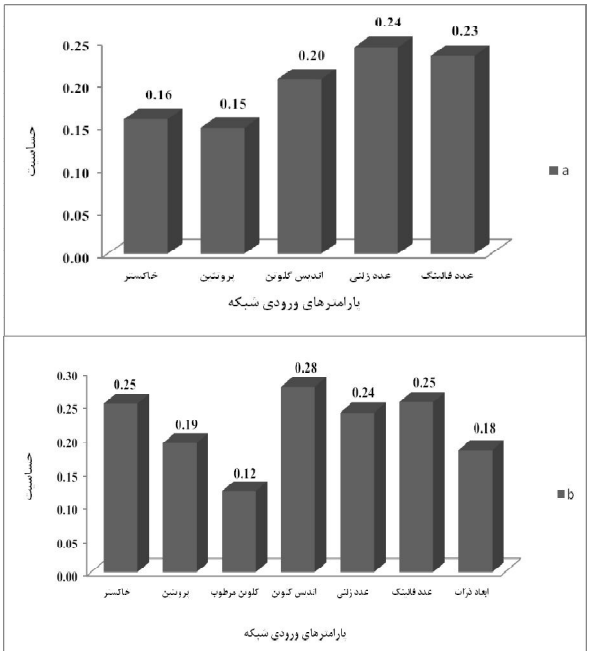
a: عرض از مبدا منحنی روبش فرکانس

b: شیب منحنی روبش فرکانس

شکل 2. مشاهدهٔ نتایج واقعی و پیش‌بینی شده توسط شبکه‌های عصبی مدل‌سازی شده با الگوریتم ژنتیک

با انجام آزمون حساسیت بر مدل به دست آمده مشخص شد که از میان پنج فاکتور ورودی، حساسیت پارامتر a نسبت به تغییرات سه فاکتور اندیس گلوتن، عدد زلنی و عدد فالینگ نسبتاً یکسان است و عدد زلنی تنها با تفاوتی جزئی نسبت به سایرین پیشی گرفته است. در میان این پنج فاکتور ورودی تغییرات درصد خاکستر و درصد پروتئین آرد تأثیر کمتری بر تغییرات عرض از مبدأ نمودار الاستیک نشان می‌دهند. شکل 3 حساسیت پارامترهای خروجی شبکه به تغییرات خصوصیات فیزیکوشیمیایی آرد را نشان می‌دهد.

حساسیت شیب نمودار مدول الاستیک به تغییرات اندیس گلوتن، عدد فالینگ، درصد خاکستر نمونه‌ها و عدد زلنی با اثر معکوس بر این پارامتر بیش از سایر فاکتورهاست. درصد پروتئین و اندیس ابعاد ذرات آرد از این حیث در درجهٔ بعد قرار می‌گیرند. در این بین حساسیت به تغییرات درصد گلوتن مرطوب آرد از سایر پارامترها کمتر است.



a: عرض از مبدا منحنی روبش فرکانس

b: شیب منحنی روبش فرکانس

شکل 3. حساسیت پارامتر خروجی شبکه به خصوصیات فیزیکوشیمیایی آرد

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]

• بحث

خمیر آرد گندم دارای ساختار پیچیده‌ای از اتصالات پروتئین و نشاسته است. خصوصیات رئولوژیکی بنیادی خمیر بیانگر میزان و نوع اتصالات موجود در ساختار مولکولی شبکهٔ گلوتنی گسترش یافته در آن است (13). خمیر آرد گندم ماده‌ای است ویسکوالاستیک که در دستهٔ مواد نرم‌شونده با برش تقسیم‌بندی می‌شود. این ماده ترکیبی از فاز جامد الاستیک و فاز ویسکوز غیرنیوتنی با غلبه مدول الاستیک یا ذخیره بر مدول ویسکوز است (3). رفتار رئولوژیکی خمیر در تغییر شکل‌های کوچک به صورت خطی و در تغییر شکل‌های بزرگ به صورت غیرخطی است. البته تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای در این زمینه درمیان نمونه‌های مختلف وجود دارد. گلوتن حاصل از نمونه‌های گندم دارای کیفیت پایین از نظر رئولوژیکی دارای ویژگی‌های الاستیک کمتر و ویسکوز بالاتری هستند که این به تأثیر کمیت و کیفیت محتوی پروتئین آرد (16-14)و نشاستهٔ آن‌ها (17) بر خصوصیات رئولوژیکی خمیر وابسته است. با افزایش محتوی پروتئین و نشاسته، افزایش چشمگیری در پارامترهای الاستیک و ویسکوز خمیر به دلیل کاهش آب آزاد موجود در سیستم صورت می‌گیرد، ولی رفتار افزایشی یکسانی مشاهده نمی شود. افزایش گلوتن موجب افزایش خطی مدول الاستیک و ویسکوز و افزایش نشاسته، موجب افزایشی غیرخطی این پارامترها می‌شود. خمیرهای تهیه شده از آرد گندم‌های سخت در مقایسه با خمیرهای تهیه شده از آرد گندم‌های نرم مدول‌های الاستیک و ویسکوز بالاتر و تانژانت اختلاف فاز پایین‌تری دارند. با افزایش مدول الاستیک و کاهش تانژانت اختلاف فاز، عموماً خمیر سفت‌تر و خواص الاستیک بیشتری از خود نشان می‌دهند (18). این در حالی است که افزایش ترکیبات محلول در آب مانند پروتئین‌های غیرگلوتنی موجب کاهش هر دو مدول الاستیک و ویسکوز و مرطوب به‌نظر رسیدن خمیر می‌شود. البته سرعت کاهش ویسکوزیته کمتر از سرعت کاهش الاستیسیته خمیر است، چراکه عموماً همگام با این کاهش، تانژانت اختلاف فاز افزایش می‌یابد. این مشاهده به دلیل افزایش توانایی جذب آب این ترکیبات و افزایش تمرکز آب موجود در خمیر در فاز محلول آن است. همچنین با افزایش درصد آب به آرد در حین تهیهٔ خمیر هر دو مدول الاستیک و ویسکوز با سرعت متغیر کاهش می‌یابند به نحوی که پارامتر تانژانت اختلاف فاز خمیر به تدریج افزایش می‌یابد (19، 17).

کمیت‌های همبستگی میان ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آرد و خصوصیات رئولوژیکی خمیر بیانگر اثر مثبت اندیس گلوتن در افزایش الاستیسته، قوام و کاهش خصوصیت ویسکوز خمیر است. Bollaín و همکاران نیز همبستگی بین اندیس گلوتن و مدول الاستیک خمیر را 0/6 و معنی‌دار گزارش کردند (20). عدد زلنی نیز تأثیراتی مشابه اندیس گلوتن نشان می‌دهد. مشاهدات دیگری که مبین تأثیر کیفیت پروتئین آرد بر افزایش مدول الاستیک و کاهش تانژانت اختلاف فاز در خمیر باشد نیز وجود دارد (22، 21). جهت همبستگی میان عدد فالینگ و خصوصیات رئولوژیکی خمیرنشان می دهد که افزایش عدد فالینگ و در واقع کاهش فعالیت آمیلازی موجب کاهش خصوصیت ویسکوز و به تبع آن کاهش نسبت مدول ویسکوز به مدول الاستیک، فاکتور تانژانت اختلاف فاز و البته شیب نمودار می‌شود، درحالی که قوام کلی خمیر تا حدی افزایش می‌یابد. Kim و همکاران نیز در سال 2006 گزارش کردند که خصوصیت ویسکوالاستیک خمیر با فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز مرتبط است. افزایش آنزیم آلفا آمیلاز موجب کاهش تنش فشاری و خصوصیت الاستیسیتی خمیر و افزایش نسبی ضریب ویسکوزیته و زمان آسایش آن می‌شود (23). افزایش اندیس ابعاد ذرات که نشان دهندهٔ ریزتر بودن ذرات آرد است نیز نتایج مشابهی را نشان می‌دهد. با کاهش ابعاد ذرات آرد در محدودهٔ مورد بررسی، بهبود قابل ملاحظه‌ای در جذب یکنواخت آب آرد، ایجاد قوام مناسب خمیر و کاهش خصوصیت ویسکوز آن صورت می‌گیرد. همبستگی میان ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر نشان می دهد که با افزایش عرض از مبدأ نمودار یا قوام کلی خمیر، عموماً شیب نمودار کاهش و خصوصیت الاستیک خمیر افزایش می‌یابد. بنابراین کمیت تانژانت اختلاف فاز کاهش می‌یابد.

مطالعات چندی در زمینه استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش بینی برخی از ویژگی‌های مرتبط با صنعت غلات مانند عدد زلنی آرد (24)، ویژگی‌های انتقال حرارت محصولات نانوایی (25) و البته خصوصیات رئولوژیکی تجربی خمیر (30-26) صورت گرفته است که نتایج بیانگر قابلیت شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی این خصوصیات با دقت‌های مختلف و قابل قبولی هستند. همچنین پژوهش‌های متعددی در زمینهٔ استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی در پیش‌بینی خصوصیات ویسکوالاستیک پلیمرها (33-31) و فلزات در حین حرارت‌دهی (37-34) وجود دارد، درحالی که تعداد مطالعات انجام شده در این زمینه در صنعت غذا محدود به یکی دو مورد در زمینهٔ پیش‌بینی ویژگی‌های رئولوژیکی پنیر مازورلای کم چرب (38) و دانهٔ روغنی کلزا است (39).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]

نتایج این تحقیق حاکی از آن است که شبکه‌های عصبی با توپولوژی بهینه به دلیل توانایی بی‌نظیر در پردازش اطلاعات و مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده دارای فاکتورهای غیرخطی بسیار، در پیش‌بینی ویژگی‌های رئولوژیکی بنیادی خمیر بسیار کارآمد هستند. بررسی حساسیت نسبی فاکتورهای خروجی به پارامترهای ورودی شبکه در مدل‌های به دست آمده نشان داد که نقش دو فاکتور اندیس گلوتن و عدد زلنی بسیار چشمگیر است ولی حساسیت فاکتورهای خروجی به سایر پارامترهای ورودی خصوصاً عدد فالینگ و درصد خاکستر نمونه‌ها نیز قابل ملاحظه است.

• References

1. Hrušková M, Šmejda P. Wheat Flour Dough Alveograph Characteristics Predicted by NIRSystems 6500. Czech J Food Sci 2003;21(1):28-33.
2. Janssen AM, van Vliet T, Vereijken JM. Fundamental and Empirical Rheological Behaviour of Wheat Flour Doughs and Comparison with Bread Making Performance. J Cereal Sci 1996;23(1):43-54.
3. Amemiya JI, Menjivar JA. Comparison of small and large deformation measurements to characterise the rheology of wheat flour doughs. J Food Eng 1992;16:91-108.
4. Bloksma AH. Rheology of the breadmaking process. Cereal Foods World. 1990;35:228-36.
5. Huang YQ, Kangas LJ, Rasco BA. Applications of artificial neural networks (ANNs) in food science. Crit Rev Food Sci Nutr 2007; 47(2): 113-26.
6. Wikstrom K, Bohlin L. Multivariate analysis as a tool to predict bread volume from mixogram parameters. Cereal Chem 1996; 73(6): 686-90.
7. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. Method 46-19, 08-01, 56-81B, 38-12A, 56-60 and 50-10. 9th ed, St Paul, American Association of Cereal Chemists, Inc. AACC; 1995.
8. Caballero PA, Gmez M, Rosell CM. Improvement of dough rheology, bread quality and bread shelf-life by enzymes combination. J Food Eng 2007;81(1):42-53.
9. Stathakisa D, Savina I, Nègrea T. Neuro-fuzzy modeling for crop yield prediction. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2006; 34: 358-61.
10. Demuth H, Beale M. Neural Network Toolbox For Use with MATLAB: The MathWorks, Inc. 2002.
11. NeuroSolutions. NeuroSolutions Help, 5.05, Developers. 5.05, Developers ed. Utited States: NeuroDimension Inc. 2005.
12. Steffe JF. Rheological Methods in Food Process Engineering. second ed: Freeman Press. pp: 294-348; 1996.
13. Letang C, Piau M, Verdier C. Characterization of wheat flour-water doughs. Part I: Rheometry and microstructure. J Food Eng 1999; 41: 121-32.
14. Amemiya JI, Menjivar JA. Comparison of small and large deformation measurements to characterize the rheology of wheat flour doughs. J Food Eng 1992; 16(1-2): 91-108.
15. Tronsmo KM, Magnus EM, Baardseth P, Schofield JD. Comparison of small and large deformation rheological properties of wheat dough and glutenstery. Cereal Chem 2003; 80: 587-95.
16. Janssen AM, Van Vliet T, Vereijken JM. Rheological behaviour of wheat glutens at small and large deformations. Comparison of two glutens differing in bread making potential. J Cereal Sci 1996; 23: 19-31.
17. Uthayakumaran S, Newberry M, Phan-Thien N, Tanner R. Small and large strain rheology of wheat gluten. Rheol Acta 2002; 41: 162-72.
18. Rao VK, Mulvaney SJ, Dexter JE. Rheological Characterisation of Long- and Short- Mixing Flours Based on Stress-Relaxation. J Cereal Sci 2000; 31(2): 159-71.
19. Mirsaeedghazi H, Emam-Djomeh Z, Mousavi SMA. Rheometric Measurement of Dough Rheological Characteristics and Factors Affecting It. Int J Agric Biol 2008; 10: 112-9.
20. Bollaجn C, Angioloni A, Collar Cn. Relationships between dough and bread viscoelastic properties in enzyme supplemented wheat samples. J Food Eng 2006; 77(3): 665-71.
21. Toufeili I, Ismail B, Shadarevian S, Baalbaki R, Khatkar BS, Bell AE, et al. The Role of Gluten Proteins in the Baking of Arabic Bread. J Cereal Sci 1999; 30(3): 255-65.
22. Khatkar BS, Bell AE, Schofield JD. The dynamic rheological properties of glutens and gluten sub-fractions from wheats of good and poor bread making quality. J Cereal Sci 1995; 22(1): 29-44.
23. Kim JH, Maeda T, Morita N. Effect of fungal alpha-amylase on the dough properties and bread quality of wheat flour substituted with polished flours. Food Res Int 2006; 39(1): 117-26.
24. Razmi-Rad E, Ghanbarzadeh B, Rashmekarim J. An artificial neural network for prediction of zeleny sedimentation volume of wheat flour. Int J Agric Biol 2008; 10(4): 422-6.
25. Sablani SS, Baik OD, Marcotte M. Neural networks for predicting thermal conductivity of bakery products. J Food Eng 2002; 52(3): 299-304.
26. Ruan R, Almaer S, Zou C, Chen PL. Spectrum analysis of mixing power curves for neural network prediction of dough rheological properties. T Asae 1997; 40(3): 677-81.
27. Razmi-Rad E, Ghanbarzadeh B, Mousavi SM, Emam-Djomeh Z, Khazaei J. Prediction.of rheological properties of Iranian bread dough from chemical composition of wheat flour by using artificial neural networks. J Food Eng 2007; 81(4): 728-34.
28. Abbasi H, Emam-Djomeh Z, Ardabili SMS. Artificial Neural Network Approach Coupled with Genetic Algorithm for Predicting Dough Alveograph Characteristics. J Text Stud 2014; 45(2): 110-20.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]

29. Abbasi H, Ardabili SMS, Emam-Djomeh Z, Mohammadifar MA, Zekri M, Aghagholizadeh R. Prediction of extensograph properties of wheat-flour dough: artificial neural network and a genetic algorithm approch. J Text Stud 2012; 43(4): 326-37.

30. Ruan R, Almaer S, Zhang J. Prediction of dough rheological properties using neural networks. Cereal Chem 1995;72(3): 308-11.

31. Demirhan E, Kandemirli F, Kandemirli M, Kovalishyn V. Investigation of the physical and rheological properties of SBR-1712 rubber compounds by neural network approaches. Mater Des 2007; 28: 1737-41.

32. Ebube NK, Owusu-Ababio G, Adeyeye CM. Preformulation studies and characterization of the physicochemical properties of amorphous polymers using artificial neural networks. Int J Pharm 2000; 196: 27-35.

33. Al-Haik MS, Hussaini MY, Garmestani H. Prediction of nonlinear viscoelastic behavior of polymeric composites using an artificial neural network. Int J Plast 2006; 22(7): 1367-92.

34. Bruni C, Forcellese A, Gabrielli F, Simoncini M. Modelling of the rheological behaviour of aluminium alloys in multistep hot deformation using the multiple regression analysis and artificial neural network techniques. J Mater Process Technol 2006; 177:323-6.

35. Anaraki MT, Sanjari M, Akbarzadeh A. Modeling of high temperature rheological behavior of AZ61 Mg-alloy using inverse method and ANN. Mater Des 2008; 29(9): 1701-6.

36. Bariani PF, Bruschi S, Dal Negro T. Modelling Nimonic 80A rheological behaviour through artificial neural networks. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B. J Eng Manuf 2004; 218(6): 615-8.

37. Bariani PF, Bruschi S, Dal Negro T. Prediction of nickel-base superalloys' rheological behaviour under hot forging conditions using artificial neural networks. J Mater Process Tech 2004; 152(3): 395-400.

38. Ganesan V, Muthukumarappan K, Joshi NS. Modeling calcium concentration and rheological characteristics of part-skim Mozzarella cheese using neural network. Appli Eng Agric 2007; 23(1): 83-8.

39. Zheng X, Lin G, He D, Wang J, You Y. Identification and application of nonlinear rheological characteristics of oilseed based on artificial neural networks. Proceedings of the International Conference on Life System Modeling, and Simulation; 2007 September 14-17; Shanghai, China.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]

Prediction of Fundamental Rheological Properties of Dough with Artificial Neural Networks-Genetic Algorithm

Abbasi H[1], Mohammadifar MA[2]*

*1- *Corresponding author: Assistant Prof, Dept. of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran. Email: h.abbasi@khuisf.ac.ir*

2- Associate Prof., Dept. of Food Science and Technology, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received 16 Mar, 2015 **Accepted 6 Jun, 2015**

Background and Objectives: Dough is an intermediate product of bakery production that represents physicochemical properties of raw materials and also qualitative aspects of the final product.Due to the high performance of artificial neural networks in educability and parallel processing of data with non-linear relations, the purpose of present research is providing suitable models for predicting rheological properties of dough based on the physicochemical properties of flour.

Materials and Methods: A range of flour samples produced in the factories of various regions and provinces of Iran were collected and seven physicochemical properties of them were evaluated. Oscillatory tests of stain and frequency sweep were done on the dough of samples, and two important parameters of them were selected for modeling. After training, and determining the specifications of networks with genetic algorithm and testing them, the sensitivity of output to input parameters was evaluated.

Results: Developed networks are four-layer perceptrons in which the first network, with removing gluten index and particle size index of flour, has 5 neurons in input layer and 15 neurons in the first and second layers for prediction of the incept, and the second has 7 neurons of input layer, 24 neurons in the first hidden layer and 17 neuron in the second hidden layer for predicting the slope of fitted model on frequency sweep. Developed networks predict rheological properties of dough with correlation coefficient more than 97%. Gluten index and zeleny number are introduced as important parameters on changing the rheological properties of dough.

Conclusion: Artificial neural network-genetic algorithm is a powerful method in predicting dough's rheological properties. Sensitivity analyses of optimum network indicate in the importance of flour's physicochemical properties in predicting the changes in the fundamental rheological properties of dough.

Keywords: Artificial neural network, Genetic Algorithm, Dough rheology, Physicochemical properties of flour

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]